

オフセット追従時の交通乱れを考慮した制御パタンの切換え頻度の最適化*

Optimization of Switching Policy of Control Pattern Considering Disturbance of Traffic Flow during Offset Transition

久井 守**, 山本 耕作***, 宇佐美 勤****
by Mamoru HISAI, Kousaku YAMAMOTO, Tsutomu USAMI

1. はじめに

交差点各流入部の到着交通の計測値およびその短期予測に基づいて時々刻々信号現示の切換え判断を行う制御方式としてUTOPIAやOPACなどがある。これらの制御では、局所的な交通状況に応じたきめ細かい制御が可能であるが、系統全体の制御効率をどう維持するか、また従来の交通応答型系統制御と比較して有利かどうかひとつの課題として考えられる。そこで本研究では、パタン選択型の系統制御を対象として、交通量変動に応じて制御パタンを切換える場合の切換え頻度と制御効率との関連について検討し、交通状況に応じてきめ細かな制御を行う場合の有効性とその限界について考察することとする。ここで、制御パタンとは、共通サイクル長、オフセットおよび青時間からなる一組の制御パラメータをいう。

本研究では共通サイクル長の切換えを中心に考えるが、共通サイクル長を変更すると最適オフセットも変化するので共通サイクル長とオフセットは一体のものとして扱うこととする。制御パタンはGAにより複数個作成し、それを用いてDPにより最適切換え政策を求める。ここで、切換え政策というのは切換え時刻と切換える制御パタンの組合せの系列をいう。本研究では交通量変動パタンは既知とする。最適化の基準としては、系統信号路線の系統方向全体の総遅れ時間とする。この遅れ時間はシミュレーションによって求める。シミュレーションではオフセットの追従処理も内蔵していて、オフセット追従時の交通の乱れを自動的に考慮できるようにするが、これを考慮することは、切換え政策を最適化するための重要な条件であると考えられる。

2. DPによる定式化

制御パタンの最適な切換え政策はDPの手法を用いて求める。M組の制御パタンが与えられたとし、また制御対象時間帯の切換え回数Nが指定されたものとする。ただし、切換え回数は対象時間終了時に1回切換えるものとしてカウントする。制御対象時間帯の総遅れ時間を最小にする最適切換え政策は次のようなDPの1次元配分過程として定式化することができる。

$$f_n(x_n, P_k) = \min_{i, x_{n-1}} \{f_{n-1}(x_{n-1}, P_i) + \sum_{t=x_{n-1}+1}^{x_n} D(P_i, P_k, t)\} \quad (1)$$

ただし、 $f_0(x_0) = 0, x_0 = 0$

ここに、 t : 5分間の時間インターバルで表した時刻($t = 1, 2, \dots$), x_n : 第n回目の切換え時刻($n = 1, 2, \dots, N$), P_k : 第k番目の制御パタン($k = 1, 2, \dots, M$) (P_k はサイクル長, 絶対オフセットを要素とするベクトル), $D(P_i, P_k, t)$: 制御パタンを P_i から P_k へ切換えた場合に時間インターバル t における総遅れ時間(時間), $f_n(x_n, P_k)$: 時間帯 $1 \sim x_n$ を n 分割し、第 n 分割目の時間帯を制御パタン P_k で制御した場合に時間帯 $1 \sim x_n$ における総遅れ時間(時間)の最小値

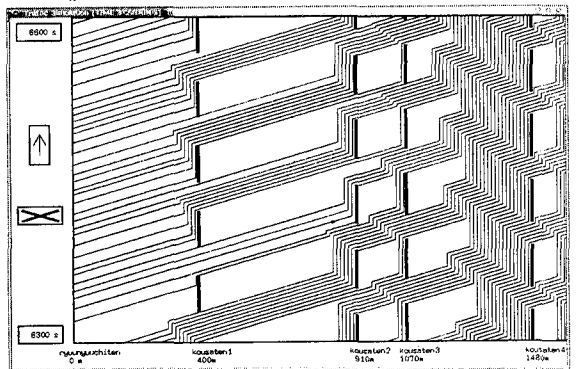


図1 シミュレーションによる車両の走行軌跡 (路線内の車両は2台おきに表示)

*キーワード：交通制御，交通流，系統信号
**正会員，工博，山口大学工学部知能情報システム工学科
〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1
TEL：0836-85-9533，FAX：0836-85-9533
***学生会員，山口大学大学院理工学研究科
****正会員，住友電工（株）

3. 遅れ時間の計算

遅れ時間 $D(P_i, P_k, t)$ は Time Scanning 方式のシミュレーションで求める。これはスキニングタイム dt ごとに時間を進め、車両の速度と位置および信号状態を更新していくシミュレーションである。シミュレーションで求めた走行軌跡の一部を図1に示す。車両は停止と自由走行のいずれかとするが、待ち行列長を再現し先詰まりも考慮する。また、オフセットの切換えにはオフセット追従を行い切換え時の交通の乱れを考慮に入れる。DP計算を上位モデル、シミュレーションを下位モデルと位置付ける。DPから与えられる切換え政策に応じてシミュレーションを実行し、遅れ時間を求める。その遅れ時間に基づいてDP計算を行い最適切換え政策を求める。シミュレーション条件は次の通りである。

- ① 時刻の原点は信号0の青開始時点とする。
- ② リンク長、車線数、上下各方向の流入交通需要、各信号の現示率などの道路条件、交通条件および信号条件は入力データで指定し、共通サイクル長とオフセットは上位モデルより与える。
- ③ 停止時の車頭距離はこれを考慮する。
- ④ 各車両の進行方向は直進のみとし、右左折流出と交差道路からの流入は考慮しない。
- ⑤ 両端からの流入交通はポアソン分布に従う。
- ⑥ 信号が青に変わって車両が発進する場合、先頭の車両は発進遅れを受け、後続の車両は待ち行列が解消するまで飽和流とする。

4. オフセット追従の方法

制御パターンを切換える場合、共通サイクル長とスプリットは1度に切換えることができるが、オフセットは交通の乱れが起きるため数回に分けて切換える必要がある。このようなオフセット切換え動作をオフセット追従という。また、変更中のオフセットが変更後のオフセットと位相が 180° ずれるような場合をオフセット反転という。これは交通流を著しく混乱させる原因となる。本研究ではオフセット反転箇所数を最小にするという条件でオフセット総追従量を最小にする追従方向を決定する。この場合、

1サイクルを超える追従は認めないこととする。

オフセット追従は、各交差点で切換えに必要なサイクル数をそろえ、1回の追従量の上限をサイクル長の $1/8$ として行う。切換えに必要なサイクル数は、各交差点ごとに1回の追従量の上限を越えないようにして求め、対象区間で必要なサイクル数が最も多い交差点にそろえる。

各交差点のオフセット追従は、共通サイクル長の切換えを終了した後、青開始時刻と同時に開始する。

5. 制御パターン切換え政策の具体的な計算法

(1) DP計算とシミュレーション実行回数関係
 $f_n(x_n, P_k)$ を求めるとき可能な切換え時刻は $(x_n - n + 1)$ 通り存在する。そのため、 $(x_n - n + 1)$ 回のシミュレーションを繰り返して遅れ時間 $D(P_i, P_k, x_n)$ を求めなければならない。しかも、与えられた制御パターンがM組の場合には、制御パターン P_i から P_k に切換えた場合について $f_n(n, P_k) \sim f_n(x_n, P_k)$ の計算をする必要があるため、さらに $(M-1)$ 回シミュレーションを実行することが必要である。したがって、切換え回数 n 回目ときのDP計算に必要なシミュレーション実行回数は、 $M \times (M-1) \times (x_n - n + 1)$ 回となる。

(2) 最適切換え時刻の計算過程

制御対象時間を0時~24時の24時間とした場合を想定して計算過程について説明する。

- ① $n=1$ の場合、式(1)を用いて各制御パターン $P_k (k=1, 2, \dots, M)$ について $f_1(1, P_k) \sim f_1(288, P_k)$ の計算を行う。ここに288は24(時間) \times 12(5分間インターバル/時)である。
- ② $n=2$ の場合、①で求めた $f_1(x_1, P_i)$ を用いて時刻 x_1 で制御パターンを P_i から P_k に切換えた場合の $f_2(x_2, P_k) (x_2=2 \sim 288)$ を計算する。この場合 $f_2(x_2, P_k)$ は x_1 と P_i のすべての組合せの中から最適の組合せを選びその値を求める。 $f_2(x_2, P_k)$ とそれに対応する x_1 および P_i を記憶する。
- ③ $n=3$ の場合、②で求めた $f_2(x_2, P_i)$ を用いて時刻 x_2 で制御パターン P_i から P_k に切換えた場合の $f_3(x_3, P_k) (x_3=3 \sim 288)$ を計算す

表1 DPによる最適切換え政策の計算過程

n	k									
	1		2		3		4		5	
	$f_n(x_n,1)$	$x_{n-1,i}$	$f_n(x_n,2)$	$x_{n-1,i}$	$f_n(x_n,3)$	$x_{n-1,i}$	$f_n(x_n,4)$	$x_{n-1,i}$	$f_n(x_n,5)$	$x_{n-1,i}$
1	$f_1(1,1)$	-, -	$f_1(1,2)$	-, -	$f_1(1,3)$	-, -	$f_1(1,4)$	-, -	$f_1(1,5)$	-, -
	⋮		⋮		⋮		⋮		⋮	
	$f_1(24,1)$	-, -	$f_1(24,2)$	-, -	$f_1(24,3)$	-, -	$f_1(24,4)$	-, -	$f_1(24,5)$	-, -
	⋮		⋮		⋮		⋮		⋮	
2	$f_2(2,1)$	1, 2	$f_2(2,2)$	1, 1	$f_2(2,3)$	1, 2	$f_2(2,4)$	1, 2	$f_2(2,5)$	1, 2
⋮		⋮		⋮		⋮		⋮		
$f_2(80,1)$	50, 5	$f_2(80,2)$	48, 5	$f_2(80,3)$	4, 5	$f_2(80,4)$	24, 2	$f_2(80,5)$	33, 2	
⋮		⋮		⋮		⋮		⋮		
$f_2(288,1)$	99, 2	$f_2(288,2)$	118, 5	$f_2(288,3)$	87, 2	$f_2(288,4)$	21, 5	$f_2(288,5)$	11, 5	
3	$f_3(3,1)$	2, 3	$f_3(3,2)$	2, 1	$f_3(3,3)$	2, 1	$f_3(3,4)$	2, 2	$f_3(3,5)$	2, 2
⋮		⋮		⋮		⋮		⋮		
$f_3(212,1)$	180, 2	$f_3(212,2)$	92, 1	$f_3(212,3)$	46, 5	$f_3(212,4)$	60, 2	$f_3(212,5)$	110, 2	
⋮		⋮		⋮		⋮		⋮		
$f_3(288,1)$	212, 2	$f_3(288,2)$	230, 3	$f_3(288,3)$	218, 2	$f_3(288,4)$	204, 2	$f_3(288,5)$	80, 4	

る。この場合 $f_3(x_3, P_k)$ は x_2 と P_i のすべての組合せの中から最適の組合せを選びその値を求める。 $f_3(x_3, P_k)$ とそれに対応する x_2 および P_i を記憶する。

- ④ $n=N$ まで同様の計算を行う
- ⑤ $f_N(288, P_k)$ の値を最小にする制御ボタン P_k を求める。
- ⑥ $f_N(288, P_k)$ に対応する切換え時刻 x_{N-1} および制御ボタン P_i を①～④で求めた計算結果から求める。
- ⑦ 同様の作業を繰り返し x_1 まで求める。

以上の作業によってN回の最適切換えのタイミング x_1, x_2, \dots, x_N が求められるので、この値から時刻を計算すれば制御ボタンの最適切換え時刻を求めることができる。

表1は切換え回数を $N=3$ とし、制御ボタンを $M=5$ 通りとした場合の最適切換え時刻を求める計算の流れを示している。まず $n=1, 2, 3$ の順に各制御ボタン P_k ($k=1, 2, \dots, 5$) における $f_n(1, P_k)$ から $f_n(288, P_k)$ の計算を行って、その計算に用いた x_{n-1} と制御ボタン P_i を記憶する。次に $f_3(288, P_k)$ の中から遅れ時間が最小になるような制御ボタンを

選び(表の場合は P_5)、それに対応する切換え時刻 $x_2=80$ と切換え前の制御ボタン P_i を求める。同様の作業を $n=1$ まで繰り返すと24時間における2回の最適切換え時刻と制御ボタンが決定される。その結果時刻 $x_1=24$ で制御ボタンを P_2 から P_4 、時刻 $x_2=80$ で制御ボタンを P_4 から P_5 に変更するのが最適であるということになる。

6. 制御ボタンの作成

図3に示すような9信号8リンクの系統信号路線を計算対象として多数の制御ボタンをGAにより作成する¹⁾。作成した制御ボタンを遅れ時間と交通量の関係から検討した上で望ましい制御ボタンを5種類 ($M=5$) 選択した。それを表2に示す。

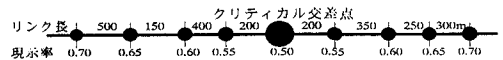


図3 計算対象の系統信号路線

表2 GAにより作成した5種類の制御ボタン

制御ボタン番号	サイクル長(秒)	絶対オフセット(サイクル長比)									
1	40	0.00	0.02	0.66	0.86	0.34	0.84	0.56	0.08	0.54	
2	60	0.00	0.46	0.24	0.68	0.42	0.68	0.14	0.88	0.30	
3	80	0.00	0.50	0.48	0.98	0.96	0.14	0.72	0.78	0.28	
4	100	0.00	0.48	0.48	0.10	0.98	0.10	0.44	0.52	0.74	
5	130	0.00	0.56	0.56	0.30	0.22	0.28	0.42	0.56	0.78	

7. 最適切換え政策

表 2 の 5 種類の制御パタンを用いて 4 時間の時間帯を対象として最適切換え政策を求める。交通量変動は上下両方向同一とし、図 4 のように仮定した。制御パタンの切換えは 15 分間に 2 度は行わない。

まず各制御パタンを設定してシミュレーションを行い、5 分間ごとに遅れ時間を求めた。求めた遅れ時間の変化を図 5 に示す。交通量が少ない時間帯ではサイクル長の小さい方が遅れ時間も小さくなり、交通量が多い時間帯ではサイクル長の大きい方が遅れ時間が小さくなるという結果になった。これは定性的に予想されるとおりの結果である。次に DP 計算で求めた最適切換え政策を図 6 に示す。交通量が少ない時間帯ではサイクル長の小さい制御パタンを選択し、交通量が多い時間帯ではサイクル長の大きい制御パタンを選択するという結果になった。これも定性的に予想されるとおりの結果である。最後に、切換え回数と総遅れ時間の関係を図 7 に示す。総遅れ時間を最小にする切換え回数は 5 回という結果となった。これは切換えを行わない場合に比べ、総遅れ時間の減少は 18% である。このように高い減少率が得られたことから、交通量が大きく変動する時間帯では制御パタンの切換えを行うことが有効であることが立証できた。また図 7 より切換え回数を多くしすぎると総遅れ時間が増加し逆効果となることがわかる。これは、久井の研究²⁾とは異なり、制御パタン切換え時の交通混乱を考慮に入れて遅れ時間を求めた成果である。

8. まとめと今後の課題

本研究では、DP で求めた制御パタンの切換え政策の有効性を示すことができた。また切換え回数を多くしすぎると逆効果になることがわかった。

本研究では、交通量変動パタンを仮定した上で計算を行った。今後は、実際の路線の交通量変動パタンを用いてそれに対応した制御パタンを用意し切換え政策を求め計算例を蓄積することが課題である。

参考文献

- 1) 小田原正和, 久井守 : GA による系統交通信号の共通サイクル長に関する研究, 土木計画学研究・講演集 20(2), pp.815-818, 1997
- 2) 市原薫, 枝村俊郎編 : 道路施設工学, 森北出版, pp.191-194, 1976

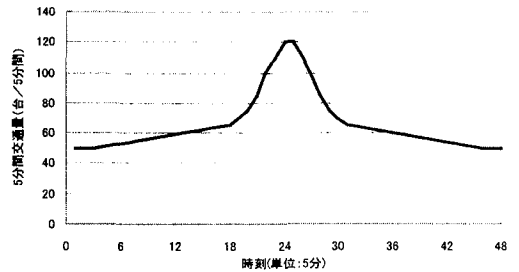


図 4 5 分間交通量の変動

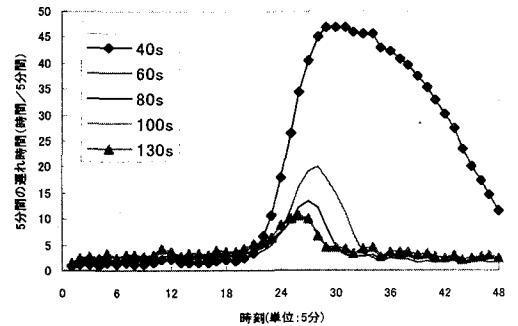


図 5 5 分間ごとの遅れ時間の変動

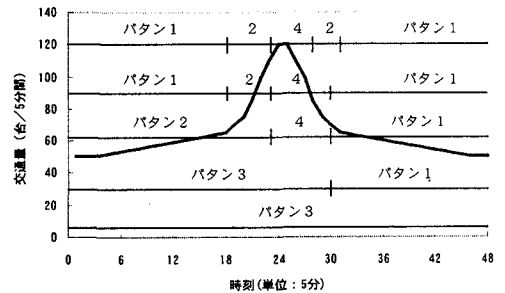


図 6 交通量変動と最適切換え政策

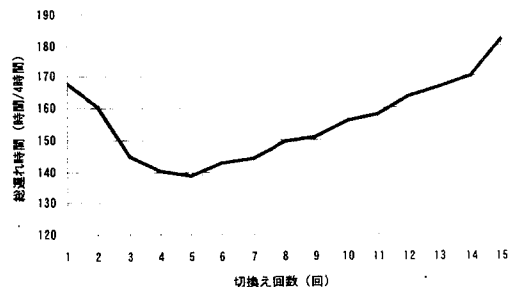


図 7 切換え回数と総遅れ時間の関係